

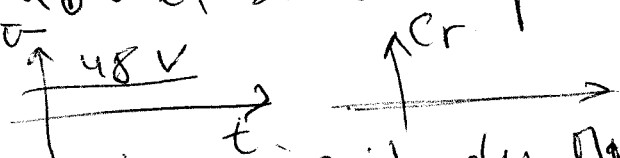
Présentation du TP et Questions

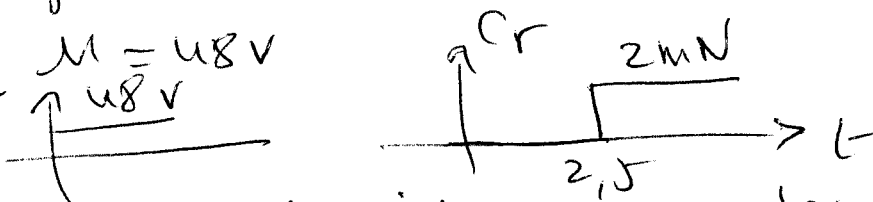
1. Nom prénom
2.
3.

TP N°1:
Machine à Courant Continu
"Régime Moteur, Régime générateur"
"Régime dynamique, Régime statique"

- ① But du TP:
- ② Théorie "Bibliographie"
- La Modélisation
- voir l'annexe ①

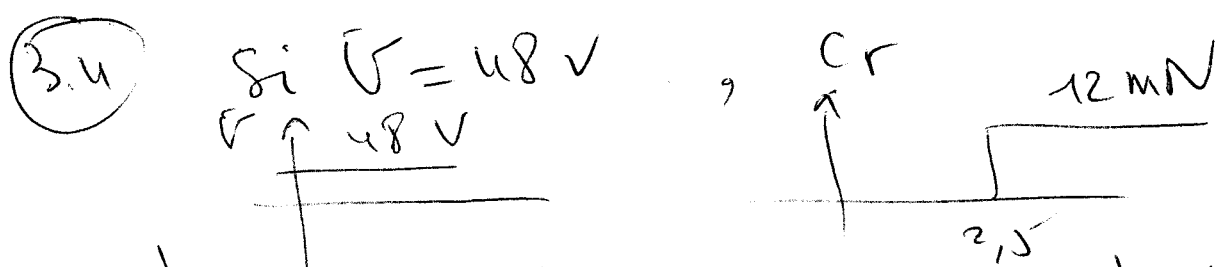
- ③ Expérimentation (Simulation)
Tracez les caractéristiques dynamiques de vitesses et du courant d'induit du Moteur pour les scénarios suivants

- 3.1 Si la tension $\bar{U} = 48V$ et si le couple résistant $C_r = 0$

Ce régime est dit marche à vide du Moteur

- 3.2 Si $U = 48V$

Ce régime est dit moteur dans le 1er quadrant

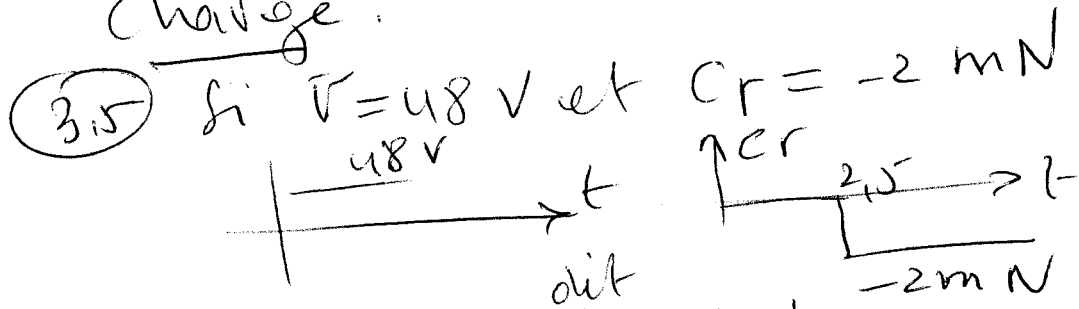
- 3.3 Si $U = 48V$ et $C_r = 11,32 mN$

Ici le moteur fonctionne comme un frein (le moteur développe est à l'arrêt mais développe un couple)
①

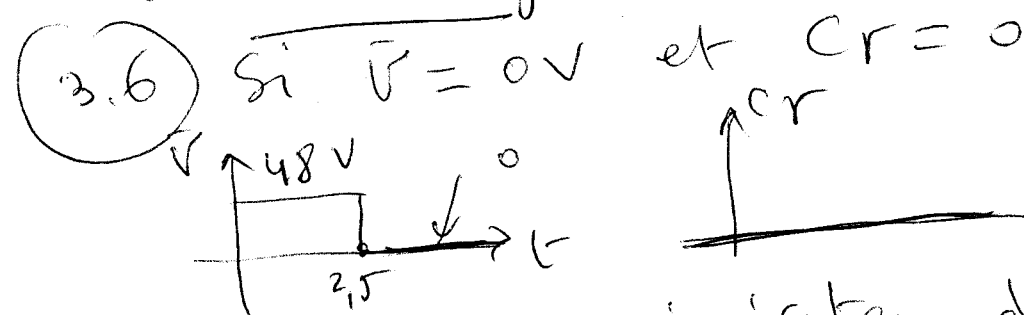


Le régime de fonctionnement est dans le 4^{ème} cadran.

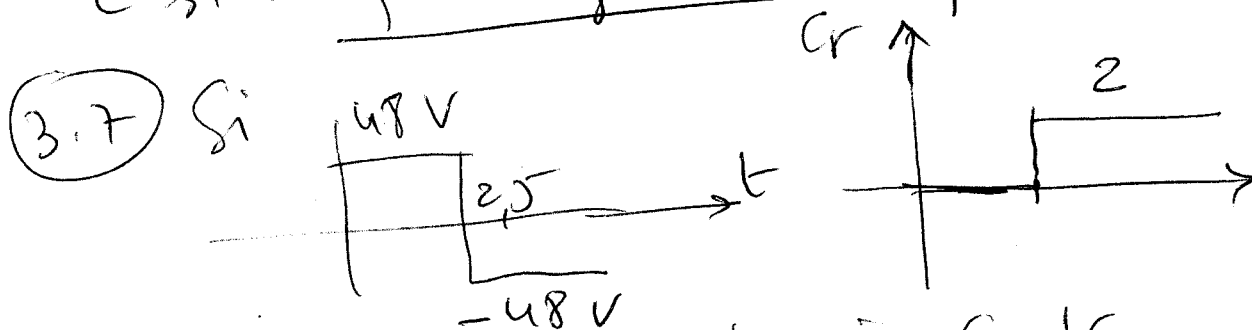
Ce régime est dit générateur :
 c'est le freinage à contre courant par la charge.



Ce régime est générateur.
 le freinage est dit freinage par récupération
 de l'énergie (2^{ème} cadran)



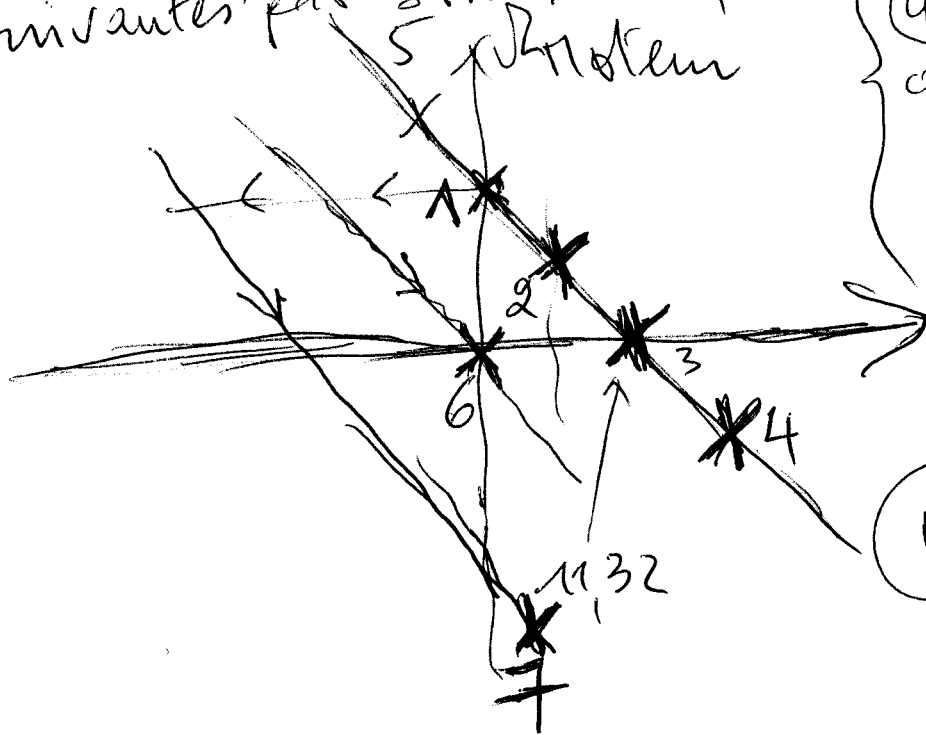
Le régime est générateur dans le 2^{ème} cadran.
 C'est un freinage dynamique



le freinage est dit à Contre
Constant le moteur passe du cadran 1
 à 2 puis à 3 puis finalement à 4

4) Caractéristique statique ??

4.1 à partir des expériences 3.1 --- 3.7
et en utilisant l'annexe 2 justifier
les caractéristiques suivantes
suivantes par simulation



4.2 Si la résistance
additionnelle est de
20% de la résistance
d'induit
Tracez cette caractéristique

Ind r Cem

4.3 Si le flux diminue
de 20% tracer
cette caractéristique

Conclusion : - - - - -

Bibliographie :

① M. Rivoire et J-L Ferrier

> MATLAB
Simulink, Stateflow
avec 57 exercices d'automatique résolus.
2001

② Machines Électriques
N. KOSTENKO et L. PIOTROVSKI
Technique Soviétique édition Mir
TOME 1 → 1979

Annexe ①

TP n°1A) Modélisation et simulation du Comportement dynamique d'un système. Exemple moteur à Courant Continu

%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%

Paramètres pour un moteur alimenté sous une tension de 48 volts

kphi=0.284;

R=1.2; Te=0.15;

f=0.6e-2; Tm=0.4;

K=60/(2*pi)

%%%%%%%%%% Paramètres pour un moteur alimenté sous une tension de 120 volts

%kphi=0.3;

%R=0.17; Te=0.95;

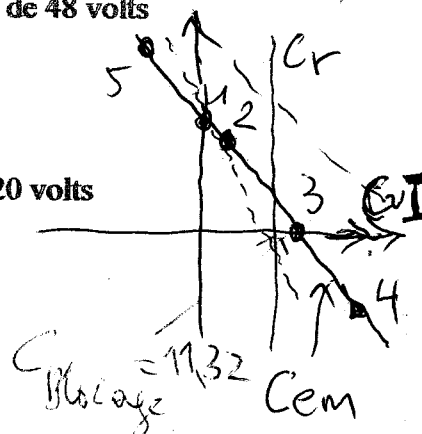
%f=0.28; Tm=4;

%K=60/(2*pi)

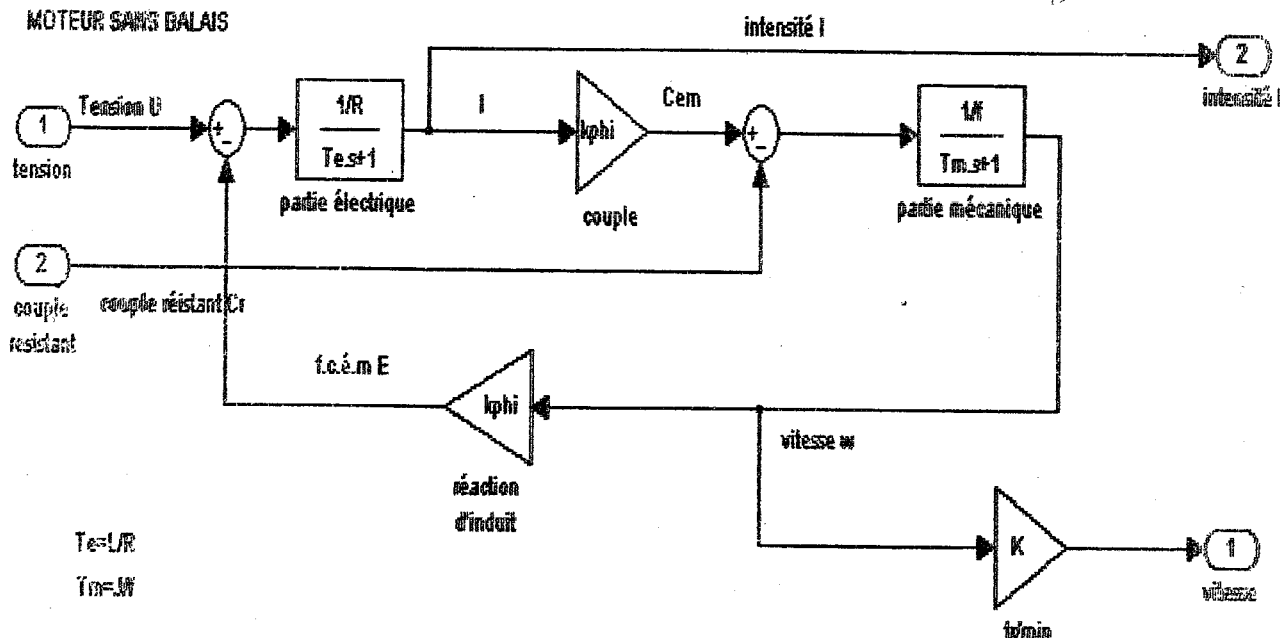
premier moteur

deuxieme moteur

Ω (tr/min)



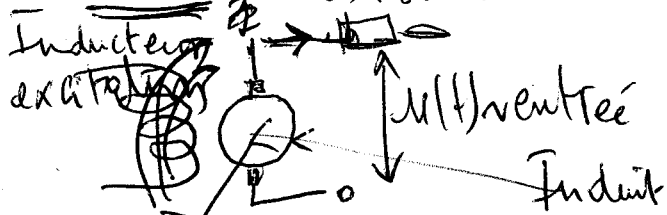
MOTEUR SANS BALAIS



Te=L/R

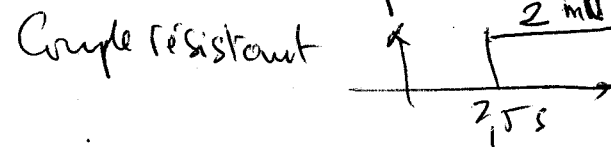
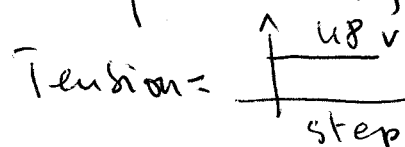
Tm=J/W

Moteur $I(t)$: Sortie



$\Omega(t)$: Sortie
Cem

Cr: perturbation (entrée)



Equations de Base (temporelles)

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} + R i(t) + f_{cem}(t)$$

$$f_{cem}(t) = k_{phi} \times w(t)$$

$$C_{em}(t) - C_r = J \dot{w}(t) + f \cdot w(t)$$

$$C_{em}(t) = K_{phi} \times i(t)$$

dans le domaine fréquentiel

$$U(p) - FCEN(p) = R (1 + Lp/R) I(p)$$

$$FCEN(p) = K_{phi} \times w(p)$$

$$C_{em} - C_r(p) = f(1 + Jp/f) \Omega(p)$$

$$C_{em}(p) = K_{phi} \times I(p)$$

(4)

c'est-à-dire que la caractéristique mécanique d'un moteur série non saturé a une forme hyperbolique.

Sur la fig. 10-17 sont représentées les caractéristiques mécaniques d'un moteur série relevées pour différentes résistances R_{reg} insérées dans le circuit de l'induit. La courbe 1, relevée pour $R_{reg} = 0$, est appelée *caractéristique mécanique naturelle*. Dans leur partie inférieure, où le moteur est déjà saturé, les courbes diffèrent considérablement d'une hyperbole.

Vu que le moteur série a une caractéristique mécanique nettement tombante il fonctionne toujours de façon stable.

10-13. Caractéristiques de freinage des moteurs à courant continu

A. Types de freinage. Dans de nombreuses installations les régimes de freinage des moteurs ont une grande importance. On distingue :

- 1) le freinage avec récupération d'énergie ;
- 2) le freinage par contre-courant ;
- 3) le freinage dynamique.

B. Freinage par récupération. Dans le cas d'un moteur en dérivation ce freinage a lieu lorsque la machine fonctionnant en régime moteur est entraînée par la machine commandée avec une vitesse

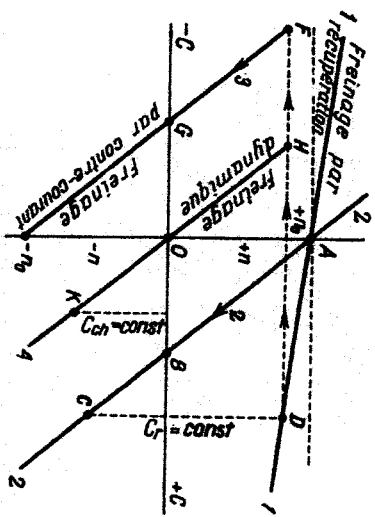


Fig. 10-18. Caractéristiques mécaniques d'un moteur à excitation en dérivation en régime de freinage

dépasseant la vitesse à vide n_0 . Dans ce cas la F.E.M. $E_a = C_m \Phi$ devient supérieure à la tension du réseau et, par conséquent, le courant $I_a = \frac{U - E_a}{R_a}$ change de signe ; le signe du couple C développé par la machine change également, c'est-à-dire que la machine commence à fonctionner en génératrice, en parallèle avec le réseau. Les par-

ties des caractéristiques mécaniques 1 et 2 qui se rapportent au régime de freinage par récupération forment les prolongements des caractéristiques correspondantes du moteur et sont disposées dans le deuxième quadrant (fig. 10-18).

Lorsqu'il s'agit d'un moteur série les choses sont un peu plus compliquées car le moteur ne peut pas passer de lui-même du régime moteur au régime de freinage par récupération par un simple accroissement de la vitesse ; lors de l'accroissement de cette dernière le flux Φ diminue et la force contre-électromotrice E_a peut se rapprocher de la tension du réseau U mais ne peut pas lui être supérieure. Pour cette raison le freinage par récupération d'une machine à excitation série est réalisé par sa mise en excitation en dérivation et en fonctionnement correspondant à cette excitation (voir plus haut). Le freinage par récupération des moteurs série est largement utilisé dans les tramways et les chemins de fer électriques.

C. Freinage par contre-courant. Un tel régime peut être réalisé de deux manières : a) lorsque le mécanisme commandé fait tourner la machine électrique dans le sens opposé à celui dans lequel agit le couple développé par cette machine, b) lors de la commutation du sens de rotation par variation du sens de courant dans l'induit du moteur.

Le premier cas a lieu, par exemple, lors du branchement d'une résistance R_{reg} suffisamment grande dans le circuit de l'induit du moteur qui soulève une charge. Examinons d'abord le processus de freinage dans un moteur à excitation en dérivation, en admettant que le couple $C_r = \text{const}$. Lors du branchement de la résistance R_{reg} le moteur passe de la caractéristique mécanique naturelle 1 (fig. 10-18) à la caractéristique mécanique 2 qui correspond à la résistance R_{reg} . Si à l'instant du branchement de cette résistance le courant I_a est limité tellement que le couple $C = C_m I_a \Phi$ du moteur devient inférieur au couple statique C_r , sur l'arbre du moteur apparaît un couple dynamique négatif C_d [voir la formule (10-9)] et la vitesse de rotation du moteur commence à diminuer. La F.E.M. E_a diminuera et le courant $I_a = \frac{U - E_a}{R_a}$ augmentera et le couple C augmentera en proportion. Un tel phénomène de la diminution de la vitesse n et de l'accroissement simultané du couple C a lieu jusqu'au moment où C devient égal à C_r ; dans ce cas $C_d = 0$ et la variation de la vitesse cesse. Pour des valeurs suffisamment grandes de R_{reg} et C_r , le moteur en ralentissant peut s'arrêter (point B de la caractéristique 2 sur la fig. 10-18) et ensuite peut commencer à tourner dans le sens inverse. La vitesse établie de la descente de la charge est déterminée par le point C où la caractéristique 2 coupe la droite $C_r = \text{const}$. Dans le régime considéré, le moteur reçoit une puissance provenant du réseau $P_{el} = UI_a$ et une puissance mécanique provenant de l'arbre du mécanisme $P_{mec} = E_a I_a$ et la somme $P_{el} + P_{mec} =$

$= UI_a + E_a I_a = I_a^2 (R_a + R_{reg})$, c'est-à-dire est complètement dépensée dans les résistances du circuit de l'induit.

Un processus analogue a lieu lors du freinage d'un moteur série. Lors du changement du sens de rotation de l'induit, la machine peut passer en régime générateur avec auto-excitation. Mais avec les résistances R_{reg} qui sont insérées dans le circuit de l'induit pour limiter l'intensité du courant la possibilité d'auto-excitation de la machine est pratiquement exclue.

Un autre cas de freinage par contre-courant a lieu lorsqu'on veut arrêter rapidement, par exemple, le chariot d'un pont roulant.

A cette fin on change la polarité des bornes de l'induit et par conséquent le sens du courant I_a . On admet toujours que C_r et E_a sont constants. Tout de suite après la commutation, l'induit continuera à tourner dans le même sens qu'avant la commutation des pôles grâce à l'énergie cinétique des parties mobiles du dispositif commandé. Dans ces conditions le signe de la force électromotrice E_a reste inchangé et le signe de la tension du réseau U change par rapport à E_a . On a donc $I_a = \frac{-U - E_a}{R_a + R_{reg}} = -\frac{U + E_a}{R_a + R_{reg}}$, où R_{reg} est la résistance supplémentaire introduite dans le circuit de l'induit pour limiter le courant I_a . De cette façon, le courant I_a change de signe et sur l'arbre du moteur apparaît un couple de freinage $-C = C_M (-I_a) \Phi$.

Tout de suite après la commutation, le travail du moteur est déterminé par le point F (fig. 10-18) correspondant au couple $-C$ et à la vitesse n que le moteur développait avant la commutation. Sous l'action du couple résistant $-C$ le moteur commence à ralentir et la F.E.M. E_a , le courant I_a et le couple C diminueront proportionnellement. Le moteur commence à fonctionner suivant la caractéristique 3 et pour une résistance R_{reg} convenablement choisie il peut s'arrêter (point G de la caractéristique 3 sur la fig. 10-18) et ensuite commencer à tourner dans le sens du couple $-C$, c'est-à-dire en sens inverse par rapport à son sens précédent. Si cela est indésirable on peut débrancher le moteur du réseau à l'instant où $n = 0$.

Un processus analogue a lieu lors du freinage d'un moteur série.

D. Freinage dynamique. Pour effectuer le freinage dynamique d'un moteur à excitation en dérivation, on débranche l'induit du moteur du réseau et on le ferme sur une résistance de charge R_{ch} sans changer le courant du circuit d'excitation. La machine commence à fonctionner en génératrice à excitation indépendante en utilisant la réserve d'énergie cinétique du groupe. Etant donné que dans le cas considéré $U = 0$, selon la formule (10-31) l'équation de la caractéristique mécanique de la machine a la forme suivante:

$$n = \frac{C (R_a + R_{ch})}{C_e C_M \Phi^2}.$$

Cette équation correspond à une droite qui passe par l'origine du système des coordonnées du deuxième quadrant dans le quatrième. Le processus de freinage a lieu de façon suivante. Supposons que la machine ait travaillé en régime moteur déterminé par le point D sur la caractéristique 1 (fig. 10-18). Tout de suite après le passage en régime de freinage dynamique, la vitesse de rotation de la machine reste pratiquement la même et la F.E.M. $E_a = C_e n \Phi$ ne change pas également. Mais le courant I_a change de sens car en moteur $I_a = \frac{U - E_a}{R_a}$ et en génératrice $I_a = \frac{-E_a}{R_a + R_{ch}}$; sur l'arbre de la machine apparaît donc un couple résistant $-C$ et le fonctionnement de la machine est déterminé par le point H (fig. 10-18) qui correspond à ce couple et à la vitesse initiale n .

Par la suite la vitesse de rotation diminue suivant la caractéristique 4, devient nulle et ensuite la machine commence à tourner dans le sens inverse ($-n$) sous l'action, par exemple, d'une charge qui descend. La vitesse établie de la descente de la charge est déterminée par le point K où la caractéristique 4 coupe la droite du couple C_{ch} créé par la charge (ce couple étant constant).

Le freinage dynamique d'un moteur série peut être réalisé comme pour un moteur en dérivation, c'est-à-dire à excitation indépendante. Mais ce régime n'est pas économique car l'excitation nécessite une grande dépense d'énergie.

Le freinage à auto-excitation d'une machine série a le défaut suivant. Pour de faibles vitesses, la machine ne s'excite pas et après une certaine vitesse le phénomène d'auto-excitation se produit de façon très rapide et est accompagné de grands couples de freinage sur l'arbre pouvant détériorer le groupe en fonctionnement.

10-14. Caractéristiques de réglage des moteurs à courant continu

Le réglage de la vitesse des moteurs à courant continu présente plusieurs avantages importants qui les rendent souvent irremplaçables.

Nous envisagerons surtout les limites de réglage de la vitesse et le facteur économique de l'opération de réglage, et nous toucherons en passant les autres problèmes (durée de démarrage, appareillage, etc.).

Conformément à la formule (10-29) nous avons:

$$n = \frac{U - I_a (R_a + R_{reg})}{C_e \Phi} \quad (10-33)$$

Il résulte de cette formule qu'on peut régler la vitesse de rotation d'un moteur à courant continu:

- 1) en faisant varier la tension du réseau U ;
- 2) en faisant varier la chute de tension dans le circuit de l'induit $I_a (R_a + R_{reg})$ et
- 3) en faisant varier le flux d'excitation Φ .